

Conference Paper, Published Version

Kunz, Claus

Sicherheitskonzept für bestehende massive Wasserbauwerke

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102289>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kunz, Claus (2015): Sicherheitskonzept für bestehende massive Wasserbauwerke. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Nachrechnung von (massiven) Wasserbauwerken. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 21-34.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Sicherheitskonzept für bestehende massive Wasserbauwerke

Dipl.-Ing. C. Kunz (BAW)

(Der Beitrag beruht auf dem Aufsatz: C. Kunz „Ein Konzept für Teilsicherheitsbeiwerte für bestehende Wasserbauwerke“, Bautechnik 92 (2015) Heft 8)

1 Einführung

Wasserbauwerke sind langlebige Infrastrukturanlagen, die zu einem gewissen Grad ein hohes Risikopotenzial aufweisen. Wasserbauwerke des Verkehrswasserbaus in Deutschland, wie z.B. Wehranlagen und Schleusen, haben ein durchschnittliches Alter von etwa 70 Jahren, etwa 25% dieser Bauwerke haben bereits ihre theoretische Lebensdauer von 100 Jahren überschritten. Alterung und Degradation, die zeitliche Änderung der Umgebungsbedingungen, im Falle von Umnutzungen, aber auch Änderungen im Sicherheitskonzept und bei Nachweis-Formaten in Normen können eine statische Überprüfung bestehender Wasserbauwerke erforderlich machen, DIN 19702 (2013), [1]. Nicht zu vergessen ist das Aufstellen bzw. Vorhalten einer Bestandsstatik, die für eine sachgerechte Prüfung eines Bauwerks unerlässlich ist, vgl. z.B. [2]. Dies ist nicht mit den Standards, die oft nur für neue Bauwerke entwickelt wurden, wie z.B. den vorliegenden Eurocodes, möglich. Die Anwendung dieser Normen für neue Bauwerke führt zu einer konzeptionellen Alterung, bei der die Tragfähigkeit zum Teil rechnerisch nicht mehr gegeben ist, was häufig jedoch nicht der Realität zu entsprechen scheint. Anders als bei Neubauten, bei denen Unsicherheiten in der Planung, beim Bau, für Einwirkungen und Widerstände und für eine Dauerhaftigkeit zu berücksichtigen sind, liegen für bestehende Bauwerke häufig Erkenntnisse aus der Betriebszeit, [1], und aus qualifizierten Bestandsaufnahmen (z.B. Geometrien, Messungen von Beanspruchungen, Eigenschaften aus Werkstoffprüfungen, Kenntnisse des statischen Systems, etc.) vor, die dazu verwendet werden können, die in der Neubau-Konzeption enthaltenen Unsicherheiten zu reduzieren. Verschiedene ältere und neuere Regelwerke und Dokumente setzten hier bereits an [3], [4], und propagieren eine Aktualisierung, [5], oder eine Modifizierung von Parametern, [6]. Die nachfolgend im Fokus stehenden Teilsicherheitsbeiwerte für bestehende massive Wasserbauwerke sind Teil eines Sicherheitskonzepts für bestehende massive Wasserbauwerke, das Hintergrund einer entsprechenden Nachrechnungsrichtlinie im Verkehrswasserbau ist [7].

2 Sicherheitskonzept für Wasserbauwerke

2.1 Generelles Konzept für neue Bauwerke

Die derzeit gültige bautechnische Normung in Deutschland, wie übrigens auch in anderen Ländern, ist auf neue Bauwerke ausgerichtet. Deutsche wie auch europäische Normen basieren mittlerweile auf den Eurocodes, die gemäß DIN EN 1990 (2002), [8], ein bauartübergreifendes Sicherheitskonzept beinhalten. Hintergrund des Sicherheitskonzepts ist ein nutzungsdauer-orientiertes Sicherheitskonzept, bei dem die Sicherheit von Bauwerken oder deren Tragwerksteilen über eine

gesamte Nutzungsdauer T_N durch einen Sicherheitsindex β zu gewährleisten ist, vgl. [9] in Verbindung mit [8]. Die Sicherheit wird im Wesentlichen bestimmt durch Unsicherheiten bei den verwendeten Modellvorstellungen (z.B. das Modell zur Ermittlung der Einwirkung, für das statische System, für den Widerstand) und durch die Variation von Basis-Variablen für Einwirkungen und Widerstände als zum Teil zeit-veränderliche Einflüsse, siehe Bild 1.

Eurocodes und darauf ausgerichtete Normen beinhalten das semi-probabilistische Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten, bei dem die Unsicherheiten bei den Einwirkungen (z.B. bei Wasserbauwerken die vorrangigen Lasten aus Wasserdruck, Erddruck, Eigengewicht, etc.) und bei den Widerständen (z.B. Materialfestigkeiten) durch jeweilige charakteristische Werte $F_{k,i}$ bzw. R_k auf der Grundlage von [8] sowie zugehörige Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{F,i}$ bzw. $\gamma_{M,i}$ nach einschlägigen Normen, z.B. [1] und [11], berücksichtigt werden. Kombinationsbeiwerte werden im Wasserbau in der Regel zu 1,0 gesetzt, [1].

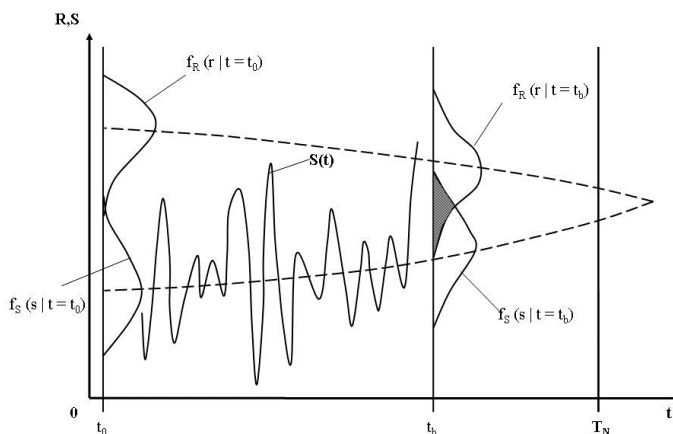


Bild 1: Konzept einer lebensdauer-orientierten Bemessung nach [10]; f_S zeigt die Verteilungsdichte der Einwirkung, f_R zeigt die Verteilungsdichte des Widerstands, $S(t)$ stellt die über die Zeit veränderliche Einwirkung dar.

Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite haben zudem die Ausprägung „ungünstig“ und „günstig“ hinsichtlich der Wirkung der Einwirkung im Bemessungsschnitt. Gleichung (1) zeigt das Prinzip:

$$\sum_{i=1}^i \gamma_{F,i} F_{k,i} \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (1)$$

mit:

- i = Nummer der gleichzeitig berücksichtigten Einwirkung,
- γ_F = Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung,
- F_k = charakteristischer Wert der Einwirkung,
- γ_M = Teilsicherheitsbeiwert des Widerstands,
- R_k = charakteristischer Wert des Widerstands.

Weiterhin werden bekanntermaßen Nachweise für die Nutzungszeit eines Bauwerks über Bemessungssituationen geführt; normale Bedingungen mittels der ständigen Bemessungssituation „BS-P“, Herstellung, Reparaturen und Inspektionszeiten mittels der vorübergehenden Bemessungssituation „BS-T“ und außergewöhnliche oder kurzzeitige Ereignisse mittels der außergewöhnlichen Bemessungssituation „BS-A“ bzw. für Erdbeben „BS-E“, vgl. [1] und [8]. Einwirkungen werden nach „ständigen“ (z.B. Eigengewicht, Erddruck, etc.), „veränderlichen“ (z.B. Wasserdruck, Wind, Schnee, etc.) und „außergewöhnlichen“ (z.B. Erdbeben, Anprall) Einwirkungen unterschieden. Das gewünschte Sicherheitsniveau hängt von der Bauwerksart ab. Massive Wasserbauwerke werden nach [1] für eine Nutzungsdauer von $T_N = 100$ Jahren und für einen Zuverlässigkeitsindex $\beta_{TN=100} = 3,8$ konzipiert, was einer operativen Gesamt-Versagens-Wahrscheinlichkeit von $P_{f,TN} = F_T = 10^{-4}$ im Bemessungsschnitt entspricht, [1], [12]. Rückgerechnet ergibt sich daraus eine jährliche operative Versagens-Wahrscheinlichkeit von $p_f = 8 \cdot 10^{-7} /a$, die geringer ist als die für normale Hoch- und Industriebauten.

Tabelle 1 zeigt die Teilsicherheitsbeiwerte für neue massive Wasserbauwerke und für Einwirkungen beim Nachweisformat „Tragfähigkeit (STR)“ im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) gemäß [DIN 19702 (2013)]. Das Vorgehen ist prinzipiell konsistent zu den Eurocodes im allgemeinen Hoch- und Ingenieurbau, weist aber wasserbauspezifische Besonderheiten, wie z.B. die günstige Wirkung des Wasserdrucks, oder auch die klare Unterscheidung zwischen ständiger und vorübergehender Bemessungssituation auf.

Nachweis	Einwirkung			GZT Bemessungssituation		
				BS-P	BS-T	BS-A
STR	ständig	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$	1.35	1.20	1.00
		günstig	$\gamma_{G,inf}$	1.00	1.00	1.00
	veränderlich	ungünstig	$\gamma_{Q,sup}$	1.50	1.30	1.00
		Wasserdruck, günstig	$\gamma_{Q,inf}$	0.80	0.90	1.00
		andere günstig	$\gamma_{Q,inf}$	0	0	0
	außergewöhnlich	-	γ_A	-	-	1.00

Tab. 1: Teilsicherheitsbeiwerte für neue massive Wasserbauwerke gemäß [1]

2.2 Restnutzungsdauerkonzept

Das Sicherheitskonzept für bestehende Wasserbauwerke nutzt das nutzungsdauer-orientierte Sicherheitskonzept der Eurocodes unter Berücksichtigung der Ziel-Versagenswahrscheinlichkeit und der Nutzungsdauer. Dabei werden für die Überprüfung der Tragfähigkeit Erfahrungen aus dem

Betrieb des Bauwerks sowie aus Bestandsaufnahmen und Untersuchungen genutzt, indem Variablen und ihre Unsicherheiten genauer bestimmt werden. Für bestehende Bauwerke können somit das Gesamt-Zuverlässigkeitsniveau über die Restnutzungsdauer angepasst und Teilsicherheitsbewerte wie auch die Bestimmung der charakteristischen Werte modifiziert werden. Letztere bleiben zunächst außen vor.

Das Prinzip der Bemessung über die Nutzungsdauer beinhaltet eine Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit $F_{TN}(t)$ für den Nachweis eines Tragwerks (Bemessungsschnitt) als Funktion der Nutzungsdauer, die sich aus der jährlichen operativen Versagenswahrscheinlichkeit $p_{f,1}$ und der zugehörigen Bemessungs-Nutzungsdauer T_N bestimmen lässt, vgl. [14].

$$F_{TN}(t) = 1 - (1 - p_{f,1})^{T_N} \quad (2)$$

Unter Berücksichtigung der gesamten Bemessungs-Nutzungsdauer eines Bauwerks bildet eine nicht eingetretene Überschreitung der eingeplanten Streuung von Basisvariablen oder ein nicht zu verzeichnendes Versagen des Bauwerks in der Vergangenheit eine Erkenntnis über das Bauwerk aus seiner Betriebsphase. Die nicht „aufgezehrte“ Zuverlässigkeit aus der Vergangenheit wird als Übertrag auf die Zuverlässigkeit der noch anstehenden Restnutzungsdauer eingesetzt, [15].

Ausgehend von der Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit $F_{TN}(t)$ im Bemessungsschnitt mit

$$F_{TN}(t) = 1 - (1 - p_{f,1})^{T_N} = \Phi(-\beta_{TN}) = 1 - e^{-(T_N \cdot p_{f,1})} \quad (3)$$

folgt die jährliche Versagenswahrscheinlichkeit zu

$$p_{f,1} = \frac{-\ln[1 - \Phi(-\beta_{TN})]}{T_N} \quad (4)$$

mit

β = Zuverlässigkeitsindex

T_N = planmäßige (Bemessungs-)Nutzungsdauer

T_{RN} = Restnutzungsdauer

$p_{f,1}$ = jährliche Versagenswahrscheinlichkeit

Φ = inverse GAUSS-Verteilung

$F_{TN}(t)$ = Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit über Nutzungsdauer T_N (= auch $P_{f,TN}$)

Das Restnutzungsdauerkonzept sieht für ein bestehendes Bauwerk die Übertragung der planungsmäßigen Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit beim Neubau auf die restliche Zeit $T_{RN} = (T_N - t)$ zu, wenn zu einem Zeitpunkt t kein Versagen eingetreten ist. Bei im Vergleich zum Neubau gleicher Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit erhöht sich dadurch die jährliche Versagenswahrscheinlichkeit zu

$$p_{f,TRN,1} = \frac{-\ln[-(\Phi(-\beta_{TN})) - 1]}{T_{RN}} \quad (5)$$

Zur Bestimmung von Teilsicherheitsbeiwerten im Rahmen des Teilsicherheitskonzepts nach [1] in Verbindung mit [8], bei denen vom Prinzip Basisvariablen für eine 100-jährige Nutzungszeit Verwendung finden, wird ein äquivalenter Zuverlässigkeitsindex äqu. β_{TRN} berechnet, indem die jährliche Versagenswahrscheinlichkeit für die Restnutzungsdauer $p_{f,TRN,1}$ auf 100 Jahre bezogen wird

$$\text{äqu.}\beta_{TRN} = -\Phi^{-1}(100 \cdot p_{f,TRN,1}) = -\Phi^{-1}\left(T_N \cdot \frac{-\ln[-(\Phi(-\beta_{TN})) - 1]}{T_{RN}}\right) \quad (6)$$

Der erforderliche Zuverlässigkeitsindex β_{TRN} für die statische Bewertung eines Bauwerks mit einer Restlaufzeit $T_{RN} < 100$ a ist in Bild 2, rote Kurve, dargestellt, [15]. Das Grundprinzip für die Bewertung ist, dass die Zuverlässigkeit für die verbleibende Nutzungsdauer T_{RN} so eingerechnet wird, dass die ursprüngliche Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit $F_T(t)$, wie ursprünglich für den Neubau geplant, erhalten bleibt. Damit dürfte die sozial-adäquate Sicherheit aufrecht erhalten sein. Eine Änderung des Zuverlässigkeitsindex β führt zu einer Änderung bei den Teilsicherheitsbeiwerten, vgl. Abschnitt 3.1. Vermindert sich nun über das Restnutzungsdauerkonzept der äquivalente Zuverlässigkeitsindex äqu. β_{TRN} , so können für bestehende Bauwerke kleinere Teilsicherheitsbeiwerte bereits eine sichere Nachweisführung bewirken.

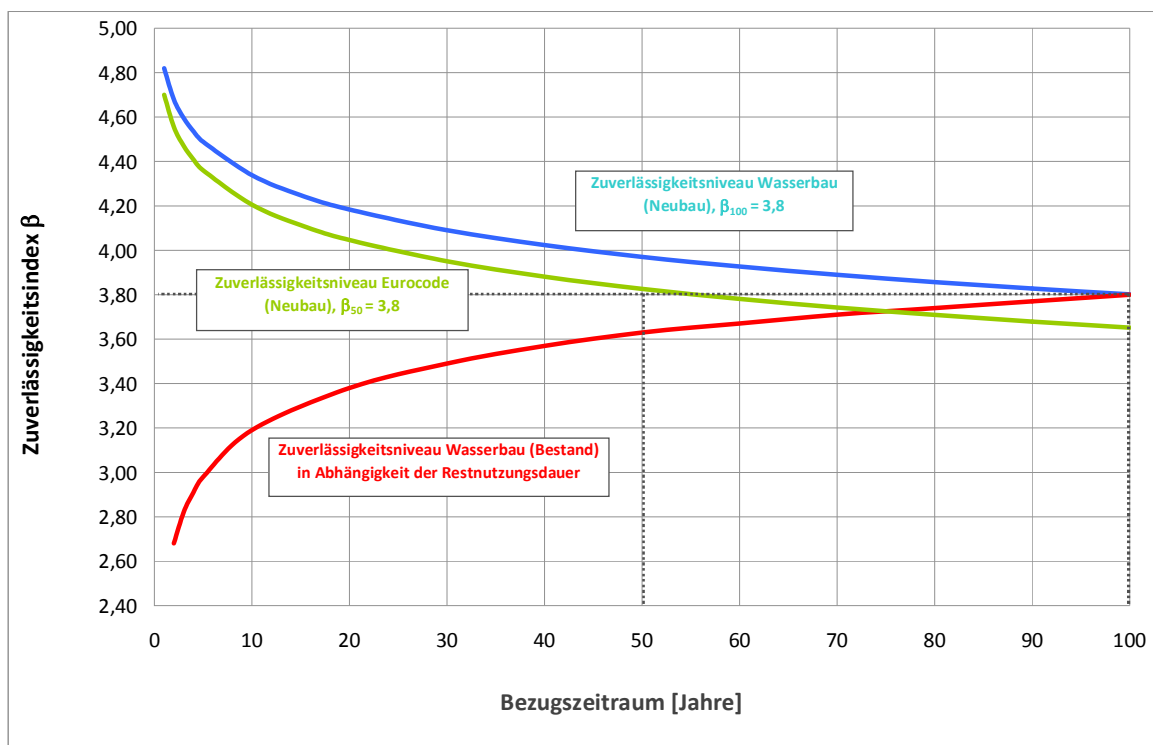


Bild 2: Zuverlässigkeitsindices β für neue Wasserbauwerke (blaue Linie), neue Hoch- und Ingenieurbauwerke (grüne Linie) sowie äquivalenter Zuverlässigkeitsindex β_{TRN} für bestehende Wasserbauwerke während der Restnutzungsdauer (rote Linie); [15].

Äquivalent bedeutet für die Anpassung der Teilsicherheitsbeiwerte, dass der Zuverlässigkeitsindex β modifiziert wird, dass die Bestimmung der charakteristischen Werte aber auf Neubau-Niveau belassen wird (planmäßige Nutzungsdauer), wohl aber Kenntnisse über Streuung von Basisvariablen aus der qualifizierten Bestandsaufnahme bzw. Untersuchungen berücksichtigt werden.

2.3 Wahl einer angemessenen Restnutzungsdauer

Insgesamt noch nicht eindeutig geklärt ist, wie mit Bauwerken – und hier insbesondere Infrastrukturbauwerken - am Ende ihrer rechnerischen Nutzungsdauer T_N umgegangen wird bzw. werden soll. Häufig stellt man sich dann einen Abriss und einen Ersatzbau vor. Wenn ein Bauwerk seine planmäßige Nutzungsdauer erreicht, dann kann – muss aber nicht – die bei der Erstellung für die Nutzungsdauer gewünschte Zuverlässigkeit nicht mehr gegeben sein, so dass bei gewünschter Weiternutzung rein rechnerisch Ertüchtigungen oder ein Ersatz vorzunehmen wären. In der Vergangenheit sorgten hier auch normative Weiterentwicklungen und sich steigende Zuverlässigkeitsanforderungen für zwangsläufige Ertüchtigungen. Vielfach erfährt das Bauwerk aber bereits schon im Verlauf der Nutzung Schädigungen, Änderungen in den Betriebs- und Umweltbedingungen oder normative Änderungen, so dass zwischenzeitliche Tragfähigkeitsbewertungen vorzunehmen waren. Ist dies aber nicht der Fall, so ist ein Procedere für den Zeitpunkt des Nutzungsdauer-Endes zu entwickeln. Finden keine Änderungen, wie oben erwähnt, statt, dann könnte ein Bauwerk auch über die erste Nutzungsdauer hinaus über eine weitere Nutzungsdauer zuverlässig sein. Ob diese Nutzungsdauer wieder die rechnerische Nutzungsdauer nach Normen für den Neubau sein muss, hängt vom weiteren Nutzungskonzept ab. Denkbar wäre es auch, unter Berücksichtigung der bisherigen Erkenntnisse weitere kürzere Nutzungsdauern für das Bauwerk vorzusehen.

Für eine zunächst generalisierte Wahl einer Restnutzungsdauer bei Wasserbauwerken bietet sich die Differenz zwischen der derzeit gewünschten „normativen“ Nutzungsdauer und dem mittlerem Alter der Wasserbauwerke an. Dies führt zu einer Restnutzungsdauer von $T_N = 100$ a abzüglich $T_0 = 70$ a zu $T_{RN} = 30$ a. Nach DIN 19700-10 (2004), [16], einer Norm mit gemeinsamen Festlegungen für Stauanlagen, werden im Rahmen der unter Sicherheitsaspekten erforderlichen Überwachung „vertiefte Überprüfungen in angemessenen Zeitabständen“ gefordert, die alle relevanten Sicherheitsnachweise für Veränderungen beinhalten; im Anwendungsbereich von [16] sind hierbei Zeiten um die 20 Jahre üblich. Gutachtliche Tragfähigkeitsbewertungen der Bundesanstalt für Wasserbau für bestehende Wasserbauwerke empfehlen häufig eine erneute statische Überprüfung eines Wasserbauwerks nach etwa weiteren 20 bis 30 Jahren, was den zuvor aufgeführten Zeithorizonten nahe kommt. Somit scheint eine Restnutzungsdauer von $T_{RN} = 30$ a für die Bewertung bestehender Wasserbauwerke bis auf Weiteres geeignet zu sein. Würden bei einer statischen Bewertung diese Nachweise für die Restnutzungsdauer von $T_{RN} = 30$ a gerade so gelingen, könnte dies für den Bauherrn eine „Vorwarnung“ sein, über das Nutzungsdauer-Ende nachzudenken und Planungen aufzunehmen.

Für diese o.a. Restnutzungsdauer $T_{RN} = 30$ a führt das Konzept aus Abschnitt 2.2 zu einem äqu. $\beta_{TRN, 30} = 3,49$ an Stelle von erf. $\beta_{TN} = 3,8$ wie für einen Neubau, siehe Bild 2. Diese Restnutzungsdauer $T_{RN} = 30$ a liegt derzeit den Überlegungen von [7] zugrunde.

3 Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte

3.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände

Nachfolgend werden exemplarisch einige für Wasserbauwerke relevante Einwirkungen und Widerstände mit den Bestimmungsgleichungen für deren Teilsicherheitsbeiwerte dargestellt. Grundlage bildet zunächst Tabelle C.3 in [8] sowie auch [17], [18] und [19]. Betrachtet werden auf der Einwirkungsseite die für Wasserbauwerke dominante Wasserlast sowie Eigenlasten und auf der Widerstandsseite die Materialfestigkeit von Beton. Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen bestimmen sich in der Regel über den Quotient aus Bemessungswert X_d und charakteristischem Wert X_k , die für Widerstände durch den reziproken Quotienten. Angemerkt sei, dass Teilsicherheitsbeiwerte immer eine pauschalisierte Näherung für die Erfüllung des Sicherheitsproblems darstellen. Im Folgenden werden Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkung und Widerstand auch als entkoppelte Faktoren betrachtet, bei denen – wie in [8] für den Neubau – feste Wichtungsfaktoren α angesetzt und beibehalten werden.

Der Wasserdruck gilt gemäß [1] über den ihn erzeugenden Wasserstand als eine veränderliche Einwirkung und wird durch die Gumbel-Verteilung (= Extremwert-Verteilung Typ I) repräsentiert, [18] und [20]. In speziellen Fällen einer geometrischen Begrenzung des Wasserstands darf die Einwirkung mit dem Teilsicherheitsbeiwert für eine ständige Einwirkung belegt werden, was gemäß [20] auch über die Veränderlichkeit in Verbindung mit einem geringen Variationskoeffizient des Wasserstands begründet werden kann. Da die Unsicherheit bei der Wasserdruckkraft durch den in der Regel hydrologisch bestimmten Wasserstand liegt, sind die Teilsicherheitsbetrachtungen zunächst auf den Wasserstand zu richten. Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{f,h}$ für den Wasserstand wird berechnet über:

$$\gamma_{f,h} = h_m - \sigma_h (0.4501 + 0.7797 (\ln (-\ln \Phi(\alpha_E \cdot \text{erf. } \beta)))) / h_m * (1 - 0.7797 * V_W (0.57722 + (\ln (-\ln p)))) \quad (7)$$

mit:

- h_m Mittelwert der Stichprobenwerte,
- σ_h Standardabweichung der Stichprobenwerte,
- V_W Variationskoeffizient der Stichprobenwerte ($V_W = \sigma_h / h_m$),
- α_E Wichtung der Einwirkung, $\alpha_E = -0,7$ gemäß [8],
- erf. β der erforderliche Zuverlässigkeitsindex (nach [1]: erf. $\beta = 3,8$).

oder umgeformt zu:

$$\gamma_{f,h} = (1 + 3.8950 * V_W) / (1 + 3.136678 * V_W) \quad (8)$$

Der Teilsicherheitsbeiwert für einen Wasserdruck $\gamma_{Q,sup}$, ungünstige Wirkung, ergibt sich dann nach Modellvorstellungen zu:

$$\gamma_{Q,sup} = \gamma_{f,h}^3 \cdot \gamma_S \quad (9)$$

mit γ_{Sd} als dem Modellunsicherheitsfaktor, siehe jeweils Kunz, C. (2014). Der Modellunsicherheitsfaktor kann für sämtliche Einwirkungen in einem ersten Schritt pauschal zu $\gamma_{Sd} = 1,1$ angenommen werden, [18], [19]. Würden Variationskoeffizienten aus den für den Neubau pauschaliert festgelegten Teilsicherheitsbeiwerten rückgerechnet werden, vgl. Tabelle 1, so erhält man einen Variationskoeffizient $V_W = 0,34$ des Wasserstands für die Einwirkung Wasserdruck als veränderliche Einwirkung und einen entsprechenden Variationskoeffizient $V_W = 0,13$ für die Einwirkung Wasserdruck als ständige Einwirkung.

Das Eigengewicht gilt als ständige Einwirkung, die sich normal-verteilt verhält. Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{G,sup}$, ungünstige Wirkung, bestimmt sich über:

$$\gamma_{G,sup} = \gamma_{Sd} \cdot (1 - \alpha_E \cdot \text{erf. } \beta \cdot V_G) / (1 + k_p \cdot V_G) \quad (10)$$

mit zusätzlich:

- V_G Variationskoeffizient der Stichprobenwerte,
- k_p Quantilenfaktor, hier 0 (entsprechend 50%-Quantile).

Da Eigenlasten geringe Streuungen aufweisen, vgl. [8], aber auch [17], ist der charakteristische Wert der Mittelwert, so dass der Quantilenfaktor zu 0 gesetzt wird. Der Variationskoeffizient für Eigenlasten kann nach [17] mit $V_G = 0,05$, insbesondere für massive Bauteile, angesetzt werden. Materialfestigkeiten werden in der Regel durch logarithmische Normalverteilungen beschrieben, da dieser Verteilungstyp nur positive Werte im Sinne der Fragestellung aufweist, [17], [18], so auch die Betonfestigkeit als Widerstandswert. Entsprechend [21] wird für den Neubau der Teilsicherheitsbeiwert γ_C in einen Grundbeiwert γ_M , der die Variation der Festigkeit V_m ($= 0,15$), die Modellunsicherheiten für das Widerstandsmodell V_{Rd} ($= 0,08$) und für die Geometrie V_a ($= 0,08$) beinhaltet, sowie eine Modellunsicherheit beim Übertragungsfaktor γ_η ($= 1,15$) für die Übertragung zwischen Labormesswert und tatsächlichem Festigkeitswert im Bauwerk aufgeteilt. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_C für die Betonfestigkeit unter Berücksichtigung der Übertragungsunsicherheit bestimmt sich über:

$$\gamma_C = \gamma_\eta \cdot \gamma_M = \gamma_\eta \cdot [\exp [(\alpha_R \cdot \text{erf. } \beta - k_p) \cdot \sqrt{(V_m^2 + V_{Rd}^2 + V_a^2)}] \quad (11)$$

mit

- α_R Wichtung des Widerstands, $\alpha_R = 0,8$ gemäß DIN EN 1990,
- k_p Quantilenfaktor, hier 1,645 (entsprechend 5%-Quantile).

3.2 Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für den Bestand von Wasserbauwerken

Die Modifizierung von Teilsicherheitsbeiwerten γ_{mod} für bestehende Wasserbauwerke sieht zunächst eine Anpassung für die für einen Neubau empfohlenen und in der Regel in den Eurocodes und in einschlägigen Wasserbau-Normen enthaltenen Teilsicherheitsbeiwerte hinsichtlich des Zuverlässigkeitsindex, mit äqu. β_{TRN} entsprechend Abschnitt 2.2 anstelle von erf. β , und im Falle einer qualifizierten Bestandsaufnahme, Untersuchung und Nachrechnung mit einem reduzierten Modellunsicherheitsfaktor γ_{Sd} bzw. γ_{Rd} mit $\gamma_{\text{Sd/Rd}} = 1,05$ anstelle von $\gamma_{\text{Sd/Rd}} = 1,1$, vor. Der nachfolgenden Modifizierung von Teilsicherheitsbeiwerten liegt das Restnutzungsdauerkonzept für eine Restnutzung von $T_{\text{RN}} = 30$ Jahren zugrunde, siehe Abschnitt 2.2. Die charakteristischen Werte, die mit den so modifizierten Teilsicherheitsbeiwerten beaufschlagt werden, sind dennoch für eine Nutzungsdauer von $T_{\text{N}} = 100$ Jahren zu ermitteln, da die Modifizierung über den äquivalenten Zuverlässigkeitsindex äqu. β_{TRN} bewerkstelligt wird. Nur durch diese Methodik wird zunächst die Gesamtzuverlässigkeit eingehalten. Qualifizierte Bestandsaufnahme, zusätzlich eingehendere Untersuchungen und statische Berechnungen ermöglichen es, die Basisvariablen von Einwirkungen und Widerständen genauer zu ermitteln und Unsicherheiten zu reduzieren. Mit den aus den Untersuchungen gewonnenen Variationskoeffizienten V_i können die Teilsicherheitsbeiwerte für die ungünstige Wirkung dieser Einwirkungen angepasster (realistischer) bestimmt werden.

3.2.1 Einwirkung Wasserdruck

Der Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung „Wasserdruck“ für die im Rahmen einer qualifizierten Bestandsaufnahme und Untersuchung gewonnenen Kennwerte ist in Bild 3 dargestellt. Die Bezugshöhe zur Bestimmung des Variationskoeffizienten für den Wasserstand ist der jeweilige Bemessungsschnitt, vereinfacht darf jedoch hierfür die Bauwerkssohle angenommen werden.

In bestimmten Fällen ist es sinnvoll, die Wasserdruckkraft direkt als Bemessungswert anzusetzen, indem sie über den Bemessungswasserstand errechnet wird. Hierzu ist der Netto-Bemessungswasserstand $H_{\text{d,W}}$ aus dem charakteristischen Wasserstand $H_{\text{k,W}}$ über $H_{\text{d,W}} = H_{\text{k,W}} \cdot \gamma_{\text{f,1}}$ mit $\gamma_{\text{f,1}}$ aus Bild 4 zu berechnen. Wasserdruckkraft, Schnittgröße oder Beanspruchung im Bemessungszustand sind anschließend mit der Modellunsicherheit $\gamma_{\text{Sd}} = 1,05$ zu multiplizieren. Weitergehende Informationen finden sich in [20].

Zwecks Vergleich mit dem pauschalen Teilsicherheitsbeiwert für den Ansatz eines ungünstig wirkenden Wasserdrucks bei Neubauten in Höhe von $\gamma_{\text{Q}} = 1,5$, vgl. Tabelle 1, ist nach dem Restnutzungsdauerkonzept und den weiteren Bedingungen bei Beibehalt des „normativen“ Variationskoeffizienten $V_{\text{W}} = 0,35$ ein modifizierter Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{\text{Q,mod.}} = 1,18 \approx 1,2$ möglich, Bild 3.

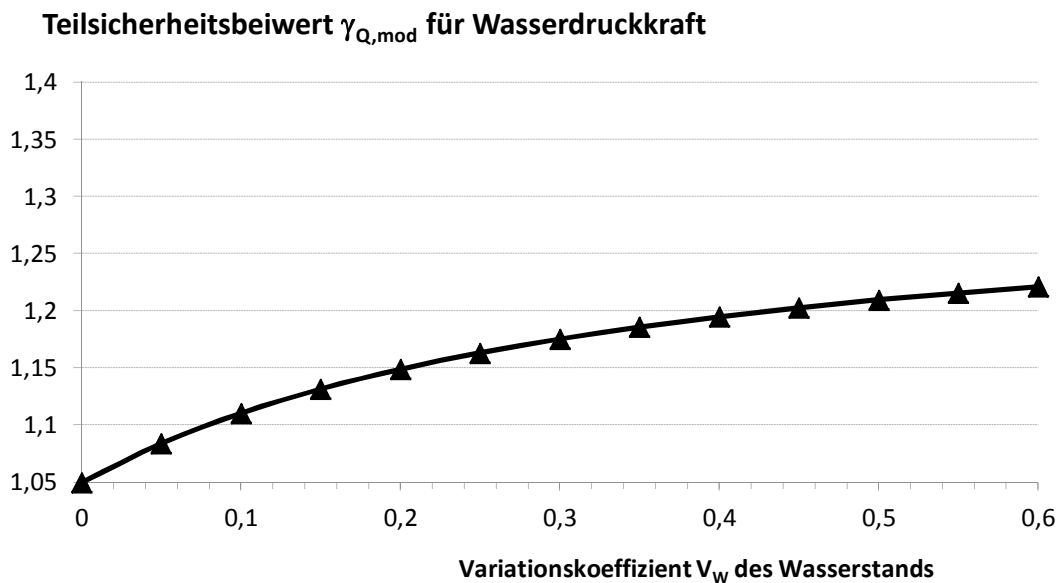


Bild 3: Modifizierter Teilsicherheitsbeiwert der Wasserdruckkraft $\gamma_{Q,mod} = f(V_W)$

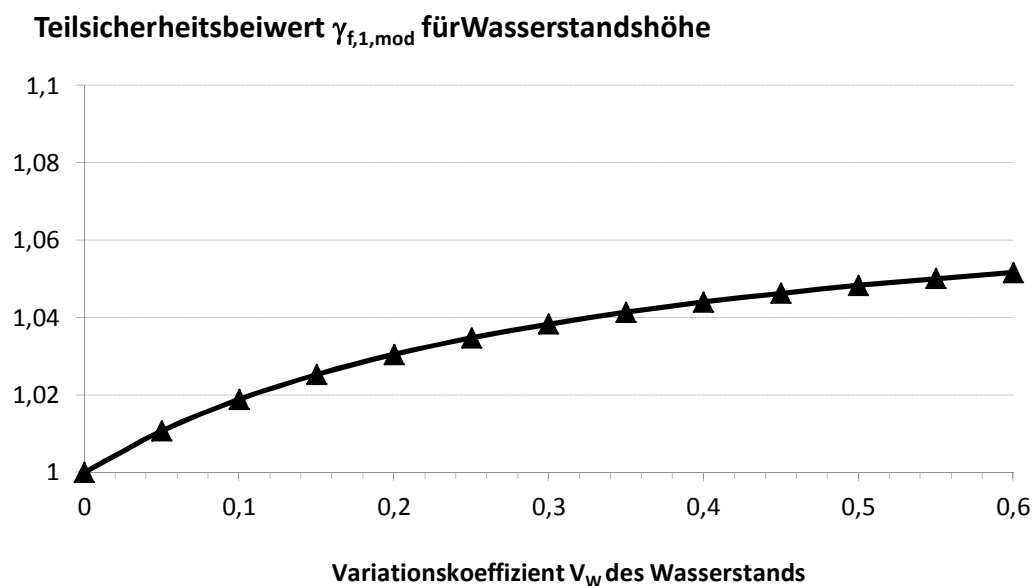


Bild 4: Modifizierter Teilsicherheitsbeiwert der Wasserstandshöhe $\gamma_{f,1,mod} = f(V_W)$

3.2.2 Einwirkung Eigenlast

Der Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung „Eigenlast“, in der Regel sind dies Lasten aus Beton oder Mauerwerk, für die im Rahmen einer qualifizierten Bestandsaufnahme und Untersuchung gewonnenen Kennwerte ist in Bild 5 dargestellt.

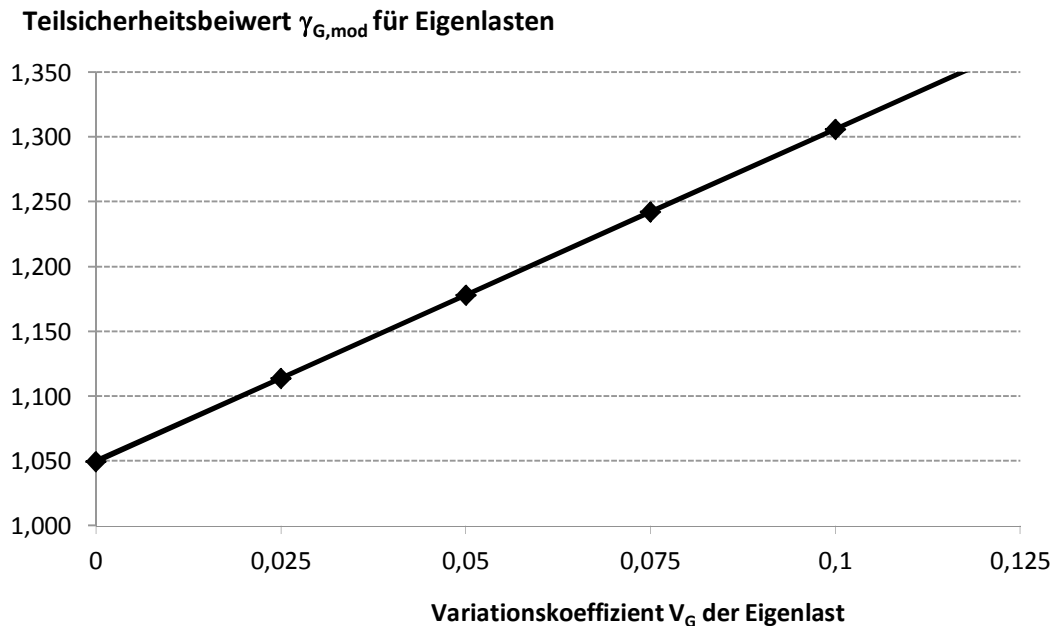


Bild 5: Modifizierter Teilsicherheitsbeiwert für Eigenlasten $\gamma_{G,mod} = f(V_G)$

Zwecks Vergleich mit dem pauschalen Teilsicherheitsbeiwert für den Ansatz einer ungünstig wirkenden Eigenlast bei Neubauten in Höhe von $\gamma_Q = 1,35$, vgl. Tabelle 1, ist nach dem Restnutzungsdauerkonzept und den weiteren Bedingungen bei Beibehalt des „normativen“ Variationskoeffizienten $V_G = 0,05$ ein modifizierter Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{G,mod.} = 1,18 \approx 1,2$ möglich, Bild 5.

3.2.3 Widerstand Betonfestigkeit

Der Teilsicherheitsbeiwert für Betonfestigkeiten für die im Rahmen einer qualifizierten Bestandsaufnahme und Untersuchung gewonnenen Kennwerte ist in Bild 6 dargestellt. Berücksichtigt sind dabei die gewonnenen Variationskoeffizienten für die Festigkeit sowie der Entfall der Unsicherheit in der Übertragung, da die Proben aus dem Bauwerk entnommen werden.

Zwecks Vergleich mit dem pauschalen Teilsicherheitsbeiwert für den Ansatz einer Betonfestigkeit bei Neubauten in Höhe von $\gamma_C = 1,5$, vgl. [11], ist nach dem Restnutzungsdauerkonzept und den weiteren Bedingungen bei Beibehalt des „normativen“ Variationskoeffizienten $V_m = 0,15$ ein modifizierter Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{C,mod.} = 1,25$ möglich, Bild 6.

Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{C,mod}$ für Betonfestigkeit

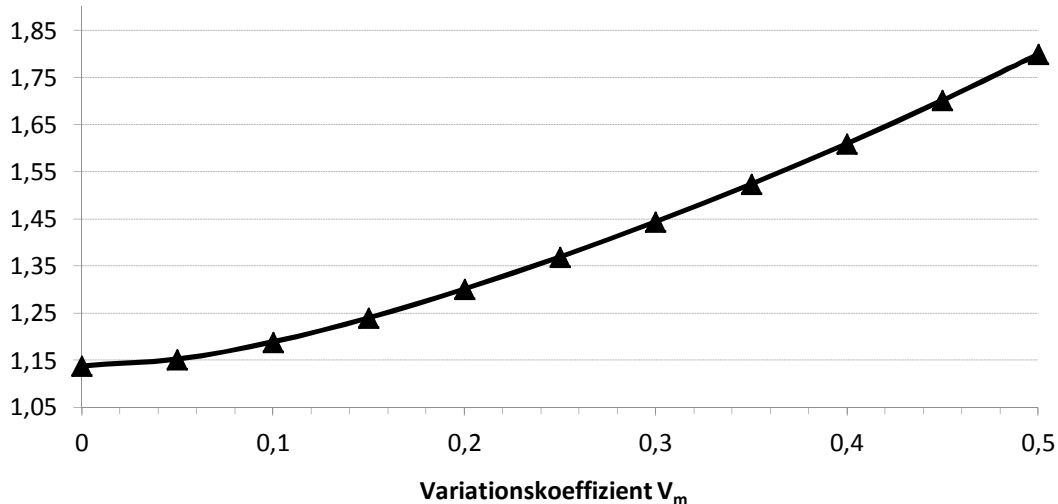


Bild 6: Modifizierte Teilsicherheitsbeiwert für Betonfestigkeit $\gamma_{C,mod} = \gamma_{M,mod} = f(V_m)$

4 Ausblick

Die Überlegungen für ein Sicherheitskonzept, hier zunächst über eine Modifizierung von Teilsicherheitsbeiwerten als einem ersten Schritt, sind Teil eines BAW-Forschungsvorhabens, [22], und haben Eingang gefunden in ein derzeit in einer ersten Erprobung befindliches BAW-Merkblatt zur „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW)“, [7]. In [7] sind diesbezüglich auch für unterschiedliche Untersuchungsstufen und in Abhängigkeit von Bemessungssituationen modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte tabelliert. Überlegungen fanden auch zeitlich im Zusammenhang mit einer Forschungskooperation der BAW mit der TU Kaiserslautern statt, [23]. Weitere Überlegungen für ein Sicherheitskonzept für bestehende Wasserbauwerke bedürfen noch der Behandlung weiterer relevanter Einwirkungen und Widerständen, der Berücksichtigung der gegenüber allgemeinen Hoch- und Ingenieurbauten typischen Konstruktionsweisen im Massivbau, der Erweiterung auf den Stahlwasserbau sowie auch Überlegungen zu adäquaten Zuverlässigkeiten. Unter Berücksichtigung des weiter alternden Bauwerks-Bestands wird es sich um eine herausfordernde, zukunftssträchtige Aufgabe handeln.

Literatur

- [1] DIN 19702: *Massive Wasserbauwerke – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit*. Beuth-Verlag, Berlin, 2013.
- [2] BMVS: *VV-WSV 2101, Verwaltungsvorschrift Bauwerksinspektion*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung WS. Bonn, 2009.

- [3] DEUTSCHE BAHN AG: *RiL 805, Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken (2010-12)*. Frankfurt am Main, 2010.
- [4] BMVBS: *Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (2011-05)*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, 2011.
- [5] SIA 269: *Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken*. Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Basel, 2003.
- [6] DBV: *Bauen im Bestand - Merkblatt Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für Stahlbetonbauteile*. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin, 2013.
- [7] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU: *Entwurf BAW-Merkblatt „Tragfähigkeit bestehender massiver Wasserbauwerke (TbW)“*, Karlsruhe, 2015 (unveröffentlicht).
- [8] DIN EN 1990: *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, einschließlich NA*. Beuth-Verlag, Berlin, 2010.
- [9] BAUPVO (2013): *Bauprodukten-Verordnung: Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates*. EU-Amtsblatt L 88, 04.04.
- [10] DIAMANTIDIS, D.: *Probabilistic Model Code*. JCSS – Joint Committee on Structural Safety. Zürich, 1999.
- [11] DIN EN 1992-1-1: *Eurocode 2, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1, Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau, einschließlich NA*. Beuth-Verlag, Berlin, 2010.
- [12] KUNZ, C.: *Wasserbauwerke aus Beton nach europäischen Normen*. In: *Betonbauteile nach Eurocode 2*. Hrsg. Holschemacher, K., HTWK Leipzig. Beuth-Verlag, Berlin, 2013.
- [13] SCHÜELLER, G.I.: *Einführung in die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Tragwerken*. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin, 1981.
- [14] KUNZ, C. : *Sicherheitskonzept für bestehende Wasserbauwerke – Version 1*. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 2012 (unveröffentlicht).
- [15] KUNZ, C.; STAUDER, F.: *Sicherheitskonzept für bestehende Wasserbauwerke*. In: *Bautechnik-Tag 2013, Tagungsband*, Hamburg, 11. bis 12.04.2013. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein.
- [16] DIN 19700-10: *Stauanlagen - Teil 10, Gemeinsame Festlegungen*. Beuth-Verlag, Berlin, 2004.
- [17] SPAETHE, G.: *Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen*. Springer-Verlag, 1992.
- [18] FISCHER, L.: *Sicherheitskonzept für neue Normen – ENV und DIN neu, Grundlagen und Hintergrundinformationen*. Beuth-Verlag, Berlin, 1999.
- [19] GRÜNBERG, J.: *Grundlagen der Tragwerksplanung – Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln für den konstruktiven Ingenieurbau. Erläuterungen zu DIN 1055-100*. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 2004.
- [20] KUNZ, C.: *Ein Beitrag zum Teilsicherheitsbeiwert für Wasserdruck*. In: *Bautechnik 91 (2014), Heft 5*. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2014.

- [21] GRÜNBERG, J.: *Nichtlineare Tragwerksanalyse eines Schleusenbauwerks und Herleitung der dabei anzusetzenden Sicherheitselemente*. Bericht Nr. 0616-1. Institut für Massivbau, Hannover, 2007 (unveröffentlicht).
- [22] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU: *Forschungsvorhaben Sicherheitskonzept für bestehende Wasserbauwerke, A39510070001*. http://www.baw.de/content/files/forschung_entwicklung/documents/A39510070001.pdf
- [23] STAUDER, F.: *Zuverlässigkeitskonzept für bestehende Tragwerke im Wasserbau*. Eingereichte Dissertationsschrift. TU Kaiserslautern, 2015 (unveröffentlicht)